

原子炉容器ノズルコーナーき裂に対する破壊評価法に関する検討

キーワード：応力拡大係数, 電気技術規程, 原子炉容器,
ノズルコーナーき裂, 欠陥評価

報告書番号：Q14001

背景

日本電気協会電気技術規程 JEAC4206-2007¹においては、原子炉容器に仮想欠陥を想定した状態で非延性破壊を防止することが要求されており、ノズル内面のコーナー部に対しても、容器胴部と同様、深さが板厚の 1/4 であるような仮想欠陥を想定した健全性評価が求められている。一方、米国機械学会の Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI² Appendix G では、ノズルコーナー部の仮想欠陥および応力拡大係数に対する詳細要件を規定することが検討されている。ノズルコーナー部は炉心領域外にあるとは言え、中性子照射が一定のレベルを超える場合には照射脆化に対する健全性評価を行うことが求められる。さらに、これら評価による破壊に対する裕度を定量的に把握しておくことは、高経年化対策ならびに運転期間延長認可制度への対応の観点から重要である。

このような状況の下、当所は中国電力株式会社からの要請を受け、原子炉容器ノズルコーナーき裂に対する破壊評価法に関する検討を実施した。

目的

原子炉容器ノズルコーナーき裂に対する破壊評価法に関する調査を行うこと。また、現行規定の持つ裕度を定量的に検討し、その妥当性を確認すること。

主な成果

(1) ノズルコーナーき裂に対する破壊評価法の調査

現行の日本電気協会 JEAC4206-2007 附属書 F に規定されたノズルコーナーき裂の応力拡大係数解の近似評価式を整理するとともに、それらの技術的根拠を明らかにした。また、それ以外の応力拡大係数解を調査し、適用の可能性のある解を抽出した(表 1 参照)。

(2) 破壊評価法の妥当性の検証

別途実施された有限要素解析 (FEM) (内圧 7.82 MPa を負荷) の結果を基に、各種のノズルコーナーき裂の応力拡大係数解の適用性について検討した。炉容器の周方向応力を用いる日本電気協会 JEAC4206-2007 附属書 F の推定式に基づく評価結果は FEM の結果に対し 20%以内の差に収まり、評価が妥当であることを確認した(図 1 参照)。他の既存の解による評価を行う際には炉容器の周方向応力でなくノズルコーナー部に作用する実際の応力を用いる必要があることがわかった(図 2 参照)。抽出された解のうち、熱過渡への対処が可能でノズルコーナー形状が実機に近い、Fife らの解(図 3 参照)が規格への取り込みに最も適していると考えられる。

1 日本電気協会, “原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法,” JEAC4206-2007, (2007).

2 ASME, “Boiler and Pressure Vessel Code Section XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Component,” (2011).

表1 ノズルコーナーき裂に適用可能な応力拡大係数解

解の種類	考慮し得る負荷	き裂形状	解の形式
JEAC4206-2007, F-4100 (WRC Bulletin No. 175 Appendix 5の解)	炉容器周方向応力	1/4円	図による
JEAC4206-2007, F-4200 (Paris and Sihの解)	炉容器周方向応力	1/4円	図による
白鳥らの解	き裂断面膜応力	半だ円	補正係数テーブル
Kobayashiらの解	三次多項式応力分布	1/4円 (コーナー部丸みなし)	補正係数テーブル
Fifeらの解	三次多項式応力分布	1/4円	近似評価式

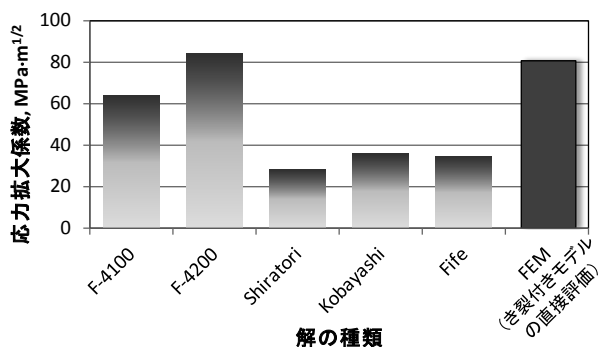
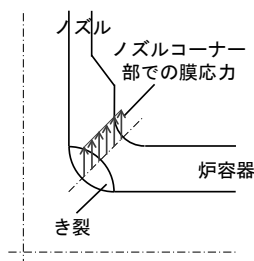
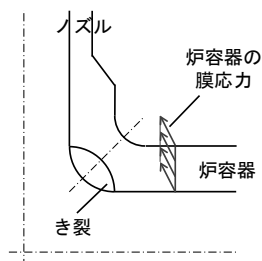


図1 き裂最深点における応力拡大係数の比較 (炉容器の膜応力のみを考慮)

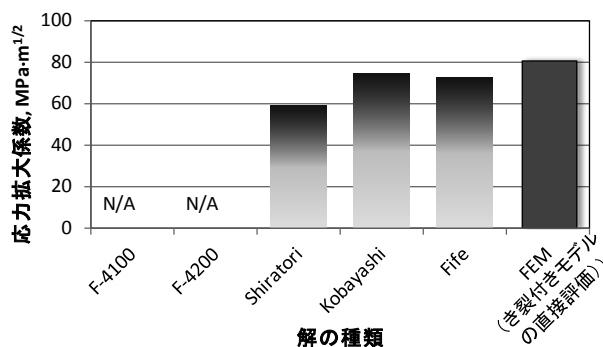


図2 き裂最深点における応力拡大係数の比較 (ノズルコーナー部での膜応力を考慮)

応力分布
 $\sigma = A_0 + A_1u + A_2u^2 + A_3u^3$
 応力拡大係数

$$K_I = \left[0.706A_0 + 0.537 \left(\frac{2a}{\pi} \right) A_1 + 0.448 \left(\frac{a^2}{2} \right) A_2 + 0.393 \left(\frac{4a^3}{3\pi} \right) A_3 \right] \sqrt{\pi a}$$

 A_0, A_1, A_2, A_3 : 応力分布の多項式近似の定数
 u : ノズルコーナー部の座標
 a : き裂深さ

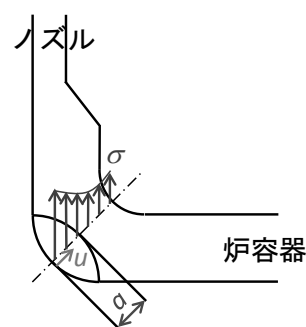


図3 Fifeの解の概要

研究担当者	三浦 直樹 (材料科学研究所 構造材料領域)
問い合わせ先	電力中央研究所 材料科学研究所 研究管理担当スタッフ Tel. 046-856-2121(代) E-mail: msrl-rr-ml@criepi.denken.or.jp